



วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. UBU Engineering Journal

บทความวิจัย

การวิเคราะห์โอกาสการเกิดวาบไฟตามผิวของลูกถ้วยก้านตรงขนาด 22kV แบบ 56-2 เมื่อจำลองการทำงานภายใต้สภาวะปนเปื้อนด้วยวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์

Analysis of Flash Over Possibility on Surface of 22kV Pin Type Insulator Model 56-2 Simulation Operating in Contaminate Conditions Using FEM

อานนท์ อิศรมงคลรักษ์^{1*} เพ็ญใจ เผ่าละออ²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม 85 หมู่ที่ 3 ถนนมาลัยแมน ตำบลนครปฐม อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

² สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

Arnon Isaramongkolrak^{1*} Padej Pao-la-or²

¹ Electrical Engineering Department, Faculty of Science and Technology, Nakhonpathom Rajabhat University, Muang, Nakhonpathom 73000

² Electrical Engineering Department, School of Engineering, Suranaree University of Technology, Muang, Nakhon Ratchasima 30000

* Corresponding author.

E-mail: anone_91@hotmail.com; Telephone: 09 0984 1082.

วันที่รับบทความ 14 กรกฎาคม 2561; วันที่แก้ไขบทความครั้งที่ 1 12 กันยายน 2561; วันที่แก้ไขบทความครั้งที่ 2 10 ตุลาคม 2561; วันที่ตอบรับบทความ 19 พฤศจิกายน 2561

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์ค่าสนามไฟฟ้าที่บริเวณผิวลูกถ้วยชนิดก้านตรง 56-2 ที่ใช้ในระบบจำหน่ายแรงดันไฟฟ้าขนาด 22 kV โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์เพื่อจำลองผลด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์แบบ 3 มิติ บทความนี้ได้พิจารณาเปรียบเทียบผลการจำลองค่าสนามไฟฟ้าเมื่อลูกถ้วยทำงานภายใต้สภาวะเปรอะเปื้อนฝุ่นละออง เปรอะเปื้อนคราบน้ำทะเล และเปรอะเปื้อนคราบน้ำฝน รวมทั้งนำผลที่ได้จากการจำลองมาวิเคราะห์หาโอกาสการเกิดวาบไฟตามผิวของลูกถ้วย และจากผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า ค่าสนามไฟฟ้าที่ผิวของลูกถ้วยสูงสุดเท่ากับ 144.18 V/mm เป็นค่าสนามไฟฟ้าเมื่อลูกถ้วยทำงานภายใต้สภาวะเปรอะเปื้อนคราบน้ำทะเลเป็นกรณีที่มีโอกาสเกิดวาบไฟตามผิวมากที่สุด ส่วนในกรณีที่ลูกถ้วยทำงานภายใต้สภาวะเปรอะเปื้อนด้วยคราบน้ำฝนจะมีโอกาสเกิดวาบไฟตามผิวน้อยที่สุด

คำสำคัญ

ลูกถ้วยก้านตรง วาบไฟตามผิว ไฟไนท์อีลิเมนต์ สภาวะเปรอะเปื้อน

Abstract

This paper presents an analysis of the electric field at the surface of pin type insulator model 56-2 which is used in a 22 kV distribution system. The simulation is performed based on a mathematical model in the form of a differential equation with three dimension finite element method. In addition, this paper focuses on the electric field comparison on surface insulator under three contaminate conditions such as dusts water drips and sea drips. Moreover, the simulation results to analyze the chance of flash over phenomenon on the surface insulator. The simulation results show that the maximum electric field of 144.18 V/mm occurred while the insulator is under a sea drips contaminated condition and has the most possibility prone to flash over phenomenon. On the other hand, the insulator installed on a water drips contaminated condition has the least possibility prone to flash over.

Keywords

pin type insulator; flash over; finite element method; contamination.

1. บทนำ

การส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ผลิตไปยังผู้บริโภคนั้นมีรูปแบบการส่งกำลังไฟฟ้าคือ การส่งกำลังไฟฟ้าเหนือศีรษะ (over head transmission system) และการส่งกำลังไฟฟ้าใต้ดิน (underground transmission system) โดยรูปแบบการส่งกำลังไฟฟ้าเหนือศีรษะยังเป็นรูปแบบที่มีการลงทุนต่ำ และเป็นรูปแบบการส่งกำลังไฟฟ้าที่มีการใช้งานเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีการพาดผ่านในบริเวณที่มีสภาพอากาศแตกต่างกัน ทำให้อุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่บนเสาส่งกำลังไฟฟ้าเกิดความเปราะเปื้อน อาทิเช่น สายส่งไฟฟ้าชนิดหุ้มฉนวนแรงดันสูง หม้อแปลงไฟฟ้าและลูกถ้วยไฟฟ้า เมื่อระบบส่งกำลังไฟฟ้าทำงานจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าแพร่กระจายออกมาจากสายส่งตัวนำ สำหรับลูกถ้วยไฟฟ้าซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รองรับสายส่งกำลังไฟฟ้าโดยทั่วไปจะทำหน้าที่เป็นฉนวนในระบบไฟฟ้ากำลัง การทำความสะอาดลูกถ้วยไฟฟ้าจำเป็นต้องได้รับการดูแลอย่างสม่ำเสมอ แต่ในบางพื้นที่ที่มีความยากลำบากสำหรับการเข้าถึง ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดความเปราะเปื้อน และเป็นสาเหตุให้เกิดปรากฏการณ์วาวไฟตามผิวลูกถ้วยจึงมีมากขึ้น ดังนั้นบทความนี้จึงมุ่งเน้นการวิเคราะห์ผลของค่าสนามไฟฟ้าบริเวณผิวลูกถ้วยที่อยู่ในสภาวะเปราะเปื้อนจากมลพิษแบบต่าง ๆ อีกทั้งยังวิเคราะห์โอกาสการเกิดวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยโดยอาศัยระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์ [1] สำหรับการจำลองผล

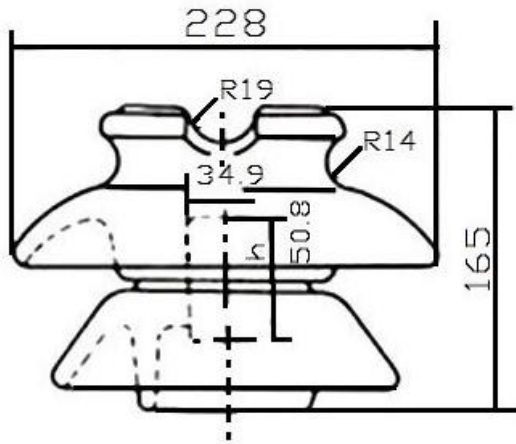
2. ลูกถ้วยไฟฟ้า

ลูกถ้วยไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้รองรับสายไฟ ทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันมิให้กระแสไฟฟ้ารั่วลงดินหรือลัดวงจร ซึ่งมีหลายประเภท [2] โดยบทความนี้ได้พิจารณาลูกถ้วยก้านตรงที่ใช้สำหรับระบบจำหน่ายแรงดันไฟฟ้าขนาด 22 kV แบบ 56-2 ตามมาตรฐาน EEI-NEMA และเคลือบด้วยสารกึ่งตัวนำ (semiconductor) ไว้ที่บริเวณจุดรองรับสายไฟที่อยู่ด้านบนของลูกถ้วย เพื่อป้องกันมิให้เกิดคลื่นวิทยุไปรบกวนระบบสื่อสารที่อยู่ใกล้เคียง ลูกถ้วยก้านตรงประเภทนี้ถือว่าเป็นลูกถ้วยที่นิยมใช้มากที่สุดในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าแสดงได้ดังรูปที่ 1

จากรูปที่ 1 บทความนี้ได้อาศัยระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์



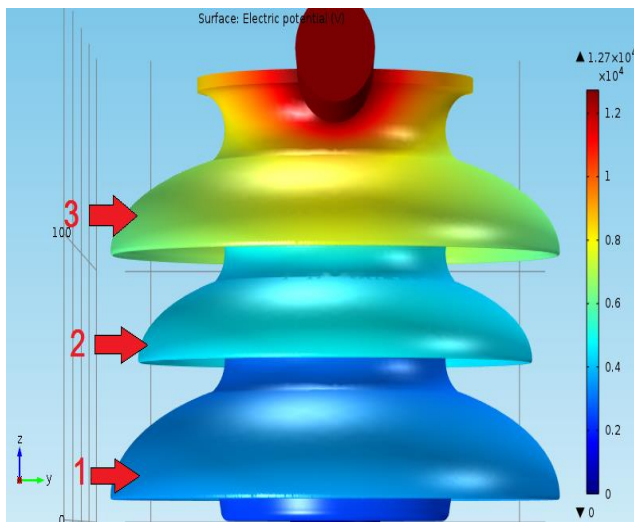
รูปที่ 1 ลูกถ้วยก้านตรง



รูปที่ 2 ขนาดและโครงสร้างของลูกถ้วยก้านตรงสำหรับการจำลองผล



รูปที่ 3 ลูกถ้วยที่มีลักษณะเปราะเปื้อน



รูปที่ 4 ค่าศักย์ไฟฟ้า (V) ที่บริเวณผิวของลูกถ้วย

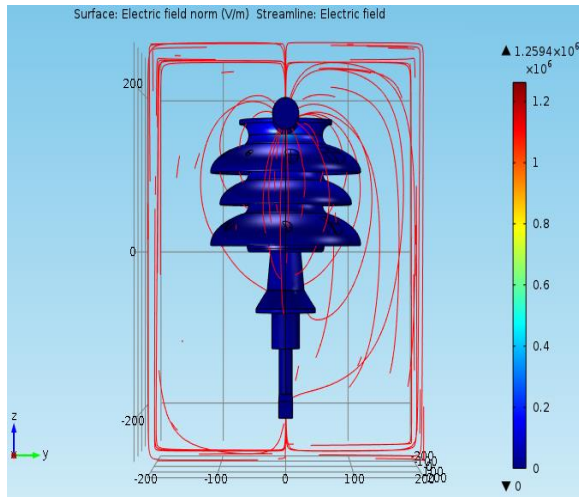
ตารางที่ 1 สภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ของวัสดุ [5]

วัสดุ	สภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์
พอร์ซเลนส์	6
น้ำฝน	80
น้ำเกลือหรือน้ำทะเล	6
ฝุ่นละอองประเภทดิน	2.8
เหล็ก	3.8
อากาศ	1

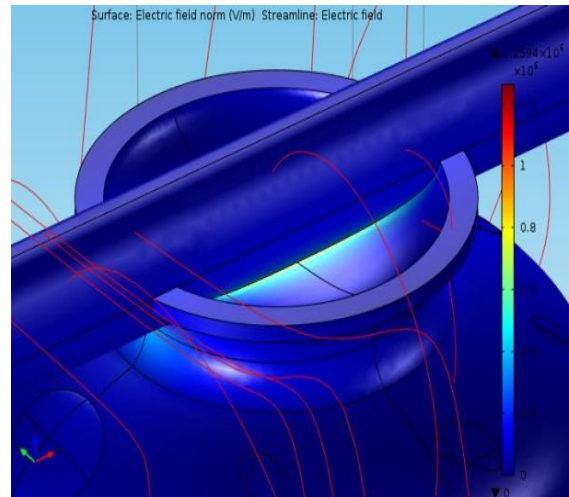
ในการจำลองผล จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องกำหนดขนาดและโครงสร้างที่ชัดเจน โดยบทความนี้ได้กำหนดให้ขนาดและโครงสร้างของลูกถ้วยแสดงได้ดังรูปที่ 2

3. สภาพะเปราะเปื้อน

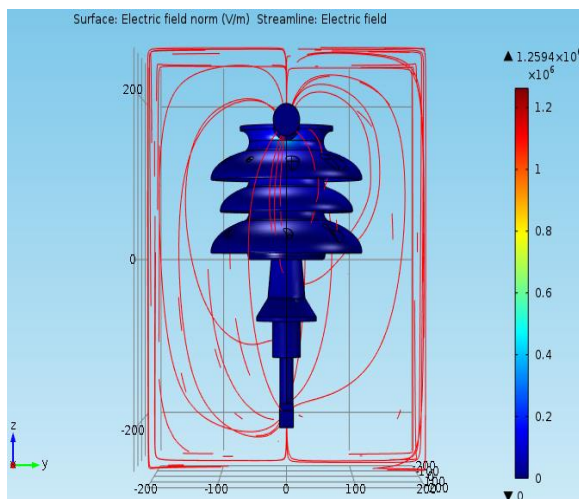
กลไกการเกิดวาบไฟตามผิวของลูกถ้วยเนื่องจากสิ่งเปราะเปื้อนที่สะสมอยู่บนผิวของลูกถ้วย ส่วนใหญ่จะมีสาเหตุเนื่องจากได้รับความชื้น ไอเกลือ หรือฝุ่นละอองในบริเวณสภาพแวดล้อมที่ติดตั้ง ทำให้สภาพนำไฟฟ้าที่ผิวลูกถ้วยมีค่าเพิ่มมากขึ้น กระแสที่รั่วไหลจะเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้อิมพีแดนซ์ของผิวของลูกถ้วยฉนวนเปลี่ยนสภาพจากอิมพีแดนซ์เชิงตัวเก็บประจุไปเป็นอิมพีแดนซ์เชิงแบบความต้านทาน เมื่อถึงระยะเวลาเพิ่มมากขึ้นจะทำให้เกิดความร้อนที่ไม่สม่ำเสมอตลอดผิวของลูกถ้วยซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่นของกระแส ทำให้บริเวณที่มีความหนาแน่นกระแสสูง เช่น บริเวณคอคอด จะเกิดความร้อนสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ ทำให้ผิวลูกถ้วยบริเวณนั้นแห้งก่อน มีลักษณะเป็นส่วนใหญ่ ๆ แคบ ๆ เกิดเป็นแถบแห้ง ถ้าความคงทนต่อความเป็นฉนวนของอากาศแถบแห้งมีค่าน้อยกว่าความเครียดสนามไฟฟ้าที่ตกคร่อมแถบแห้งจะทำให้เกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วยขึ้น โดยในบทความนี้จะพิจารณาสภาพะเปราะเปื้อนบนผิวลูกถ้วยทั้งหมด 3 สภาพะเปื้อนคือ เปราะเปื้อนด้วยคราบฝุ่นละออง เปราะเปื้อนด้วยคราบน้ำทะเลและ



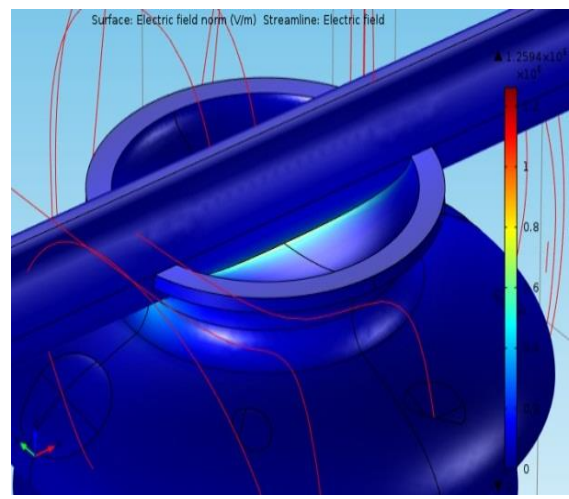
รูปที่ 5 การกระจายสนามไฟฟ้า (V/mm) ของลูกถ้วยเมื่อทำงานในสถานะเปรอะเปื้อนด้วยฝุ่นละออง



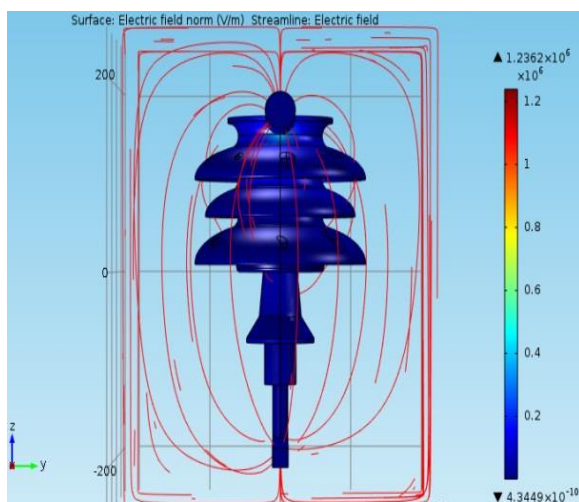
รูปที่ 6 การกระจายสนามไฟฟ้า (V/mm) ของลูกถ้วยบริเวณจุดรองรับสายไฟเมื่อทำงานในสถานะเปรอะเปื้อนด้วยฝุ่นละออง



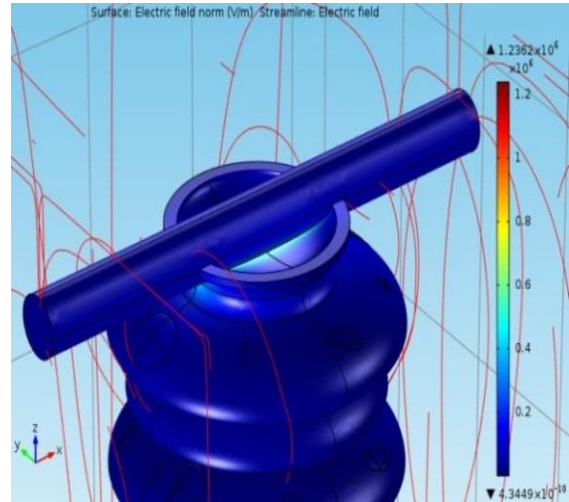
รูปที่ 7 การกระจายสนามไฟฟ้า (V/mm) ของลูกถ้วยเมื่อทำงานในสถานะเปรอะเปื้อนด้วยคราบน้ำทะเล



รูปที่ 8 การกระจายสนามไฟฟ้า (V/mm) ของลูกถ้วยบริเวณจุดรองรับสายไฟเมื่อทำงานในสถานะเปรอะเปื้อนด้วยคราบน้ำทะเล



รูปที่ 9 การกระจายสนามไฟฟ้า (V/mm) ของลูกถ้วยเมื่อทำงานในสถานะเปรอะเปื้อนด้วยคราบน้ำฝน



รูปที่ 10 การกระจายสนามไฟฟ้า (V/mm) ของลูกถ้วยบริเวณจุดรองรับสายไฟเมื่อทำงานในสถานะเปรอะเปื้อนด้วยคราบน้ำฝน

เปรอะเปื้อนด้วยคราบน้ำฝน ลักษณะการเปรอะเปื้อนแสดงได้ดังรูปที่ 3 [3]

4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และพารามิเตอร์สำหรับการจำลองผล

การจำลองผลค่าสนามไฟฟ้าเริ่มต้นจากสมการของสนามไฟฟ้าสถิตแสดงได้ดังสมการที่ (1) [4,6]

$$\nabla \cdot (\epsilon_0 \epsilon_r E) = \rho_v \quad (1)$$

จากสมการแมกเวลล์ แทนค่า $E = -\nabla \times V$ [9] ลงในสมการที่ (1) จะได้สมการสำหรับการคำนวณค่าสนามไฟฟ้าได้ดังสมการที่ (2)

$$\nabla \cdot (\epsilon_0 \epsilon_r (-\nabla \times V)) = \rho_v \quad (2)$$

บทความนี้พิจารณาสนามไฟฟ้าในรูปแบบ 3 มิติ ดังนั้นจะได้สมการสำหรับการจำลองผลเป็นดังสมการที่ (3)

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = -\frac{\rho_v}{\epsilon} \text{ c/m}^3 \quad (3)$$

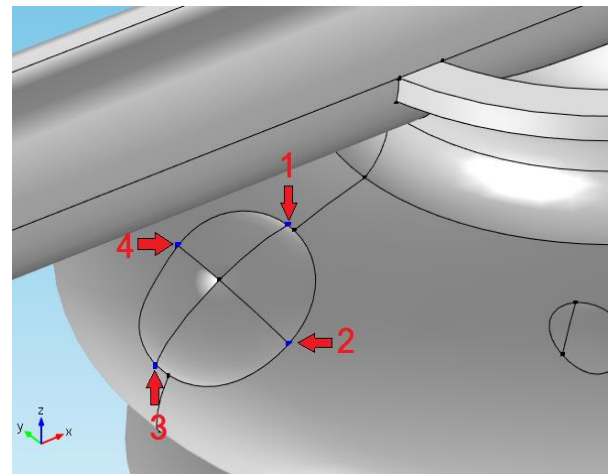
จากสมการที่ (3) จะได้พารามิเตอร์สำหรับการจำลองผลคือ ค่าสภาวะยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ (relative permittivity) ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุประเภทต่าง ๆ เป็นไปตามตารางที่ 1

5. ผลการจำลอง

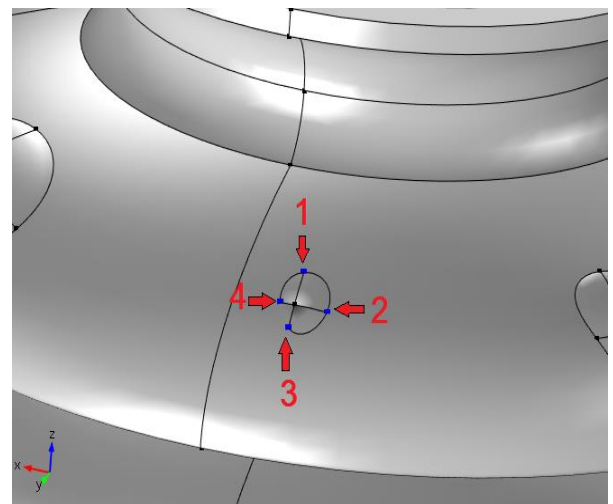
บทความนี้อาศัยระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์สำหรับการจำลองผลจะได้ผลเฉลยในรูปของค่าศักย์ไฟฟ้าซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4 อาศัยสมการของแมกเวลล์เพื่อแปลงค่าจากศักย์ไฟฟ้าเป็นสนามไฟฟ้า [7,8] และทำการเปรียบเทียบการกระจายค่าสนามไฟฟ้าที่บริเวณผิวลูกถ้วยในสภาวะการเปรอะเปื้อนที่แตกต่างกัน 3 ชนิดคือ เปรอะเปื้อนคราบน้ำฝน เปรอะเปื้อนคราบน้ำทะเล และเปรอะเปื้อนฝุ่นละออง และนำผลการจำลองค่าสนามไฟฟ้ามาวิเคราะห์เปรียบเทียบถึงโอกาสการเกิดปรากฏการณ์วาบไฟตามผิวของลูกถ้วย โดยผลการจำลองแสดงได้ดังรูปที่ 5-10

ตารางที่ 2 ค่าสนามไฟฟ้าเฉลี่ย (V/mm) บนผิวลูกถ้วยในสภาวะต่างๆ และในสภาวะที่ไม่มีสิ่งเปรอะเปื้อน

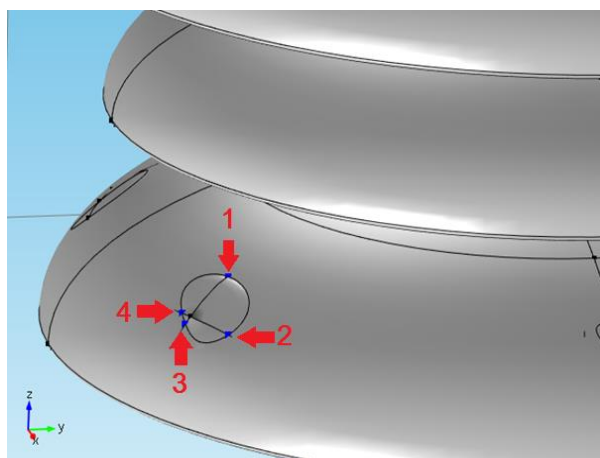
สภาวะ	ลูกถ้วย ชั้นที่ 1	ลูกถ้วย ชั้นที่ 2	ลูกถ้วย ชั้นที่ 3
ไม่เปรอะเปื้อน	34.47	70.78	102.66
เปรอะเปื้อน ฝุ่นละออง	35.72	70.82	93.62
เปรอะเปื้อน คราบน้ำทะเล	35.14	70.83	93.11
เปรอะเปื้อน คราบน้ำฝน	34.98	70.57	98.93



รูปที่ 11 ตำแหน่งวิเคราะห์การเกิดเบรกดาวน์ที่รอบจุดเปรอะเปื้อนของผิวลูกถ้วยบนชั้นที่ 3



รูปที่ 12 ตำแหน่งวิเคราะห์การเกิดเบรกดาวน์ที่รอบจุดเปรอะเปื้อนของผิวลูกถ้วยบนชั้นที่ 2



รูปที่ 13 ตำแหน่งวิเคราะห์การเกิดเบรกดาวน์ที่รอบจุดประเอี้ยนของผิวลูกถ้วยบนชั้นที่ 1

จากผลการจำลองด้วยการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าสนามไฟฟ้าบนผิวลูกถ้วยเพื่อเปรียบเทียบค่าสนามไฟฟ้าเมื่อลูกถ้วยทำงานในสภาวะปกติที่ไม่มีการประเอี้ยนและลูกถ้วย

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์โอกาสการเกิดวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยบนชั้นที่ 3 เมื่อประเอี้ยนในสภาวะต่าง ๆ

สภาวะประเอี้ยน	ตำแหน่งวิเคราะห์การเกิดวาวไฟตามผิว	ค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ผิวลูกถ้วย (V/mm)	ค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ฉนวนหรือรอยต่อฉนวน (V/mm)	โอกาสเกิดวาวไฟตามผิว
ฝุ่นละออง	1	90.91	98.60	ไม่เกิด
	2	67.28	93.87	ไม่เกิด
	3	77.12	94.91	ไม่เกิด
	4	72.86	97.90	ไม่เกิด
คราบน้ำทะเล	1	144.18	128.36	เกิด
	2	90.80	112.54	ไม่เกิด
	3	101.04	114.95	ไม่เกิด
	4	105.78	113.58	ไม่เกิด
คราบน้ำฝน	1	109.35	103.56	เกิด
	2	65.56	100.43	ไม่เกิด
	3	63.44	96.26	ไม่เกิด
	4	69.75	98.36	ไม่เกิด

ทำงานในสภาวะที่มีการประเอี้ยนทั้ง 3 สภาวะในเชิงตัวเลขแสดงได้ดังตารางที่ 2

การวิเคราะห์ผลการจำลอง บทความนี้ได้แบ่งพื้นที่การวิเคราะห์ผลตามจุดที่มีการประเอี้ยน ซึ่งได้กำหนดจุดสำหรับการวิเคราะห์การเกิดวาวไฟหรือเกิดเบรกดาวน์ที่ตำแหน่งรอบจุดประเอี้ยนทั้งหมด 4 จุด โดยพิจารณาในชั้นที่ 3 ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 1 แสดงได้ดังรูปที่ 11-13 ตามลำดับ

การวิเคราะห์การเกิดวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยจะอาศัยทฤษฎีทางด้านไฟฟ้าแรงสูงโดยกำหนดเงื่อนไขค่าความเข้มสนามไฟฟ้าวิกฤติที่บทความนี้ใช้เป็นสมมติฐานในการวินิจฉัยโอกาสความเป็นไปได้ของเหตุการณ์วาวไฟตามผิวคือ การเกิดเบรกดาวน์หรือเกิดวาวไฟตามผิวนั้นจะเกิดขึ้นได้เมื่อค่าสนามไฟฟ้าสูงที่สุดที่บริเวณผิวของลูกถ้วยจะต้องมีค่ามากกว่า

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์โอกาสการเกิดวาวไฟตามผิวของลูกถ้วยบนชั้นที่ 2 เมื่อประเอี้ยนในสภาวะต่าง ๆ

สภาวะประเอี้ยน	ตำแหน่งวิเคราะห์การเกิดวาวไฟตามผิว	ค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ผิวลูกถ้วย (V/mm)	ค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ฉนวนหรือรอยต่อฉนวน (V/mm)	โอกาสเกิดวาวไฟตามผิว
ฝุ่นละออง	1	75.45	72.56	เกิด
	2	77.45	74.93	เกิด
	3	71.51	74.86	ไม่เกิด
	4	68.56	71.87	ไม่เกิด
คราบน้ำทะเล	1	79.54	76.86	เกิด
	2	75.46	74.38	เกิด
	3	74.96	73.61	เกิด
	4	72.96	75.45	ไม่เกิด
คราบน้ำฝน	1	70.04	70.15	ไม่เกิด
	2	68.97	72.67	ไม่เกิด
	3	63.44	66.86	ไม่เกิด
	4	69.83	68.92	เกิด

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์โอกาสการเกิดวาบไฟตามผิวของลูกถ้วยบน
ชั้นที่ 1 เมื่อเปรอะเปื้อนในสภาวะต่าง ๆ

สภาวะเปรอะเปื้อน	ตำแหน่งวิเคราะห์การเกิดวาบไฟ ตามผิว	ค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ผิวลูกถ้วย (V/mm)	ค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ฉนวนหรือ รอยต่อฉนวน (V/mm)	โอกาสเกิดวาบไฟตามผิว
ฝุ่นละออง	1	28.35	32.62	ไม่เกิด
	2	32.62	32.04	เกิด
	3	30.06	33.54	ไม่เกิด
	4	29.84	32.87	ไม่เกิด
คราบน้ำ ทะเล	1	37.41	38.65	ไม่เกิด
	2	37.33	36.89	เกิด
	3	34.97	36.77	ไม่เกิด
	4	37.85	37.27	เกิด
คราบน้ำ ฝน	1	34.17	36.65	ไม่เกิด
	2	32.43	35.35	ไม่เกิด
	3	34.32	36.04	ไม่เกิด
	4	31.87	36.54	ไม่เกิด

ค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดของฉนวนหรือบริเวณจุนรอยต่อของจุด
เปรอะเปื้อน [10] โดยผลการวิเคราะห์ค่าสนามไฟฟ้าที่ผิวของ
ลูกถ้วยบนชั้นที่ 3 ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 1 จะแสดงได้ดังตารางที่
3-5 ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์โอกาสการเกิดวาบไฟตามผิวของลูก
ถ้วยในตารางที่ 3-5 ซึ่งคำนวณโดยอาศัยฟังก์ชันรูปร่างของอิลิ
เมนต์รูปทรงสี่เหลี่ยมโดยพิจารณาอิลิเมนต์ในตำแหน่งที่เกิดการ
เปรอะเปื้อนจะเห็นได้ว่า เมื่อลูกถ้วยทำงานในสภาพแวดล้อมที่
มีการเปรอะเปื้อนด้วยคราบน้ำทะเลจะทำให้มีโอกาสเกิดวาบ
ไฟตามผิวได้ง่ายกว่าเมื่อลูกถ้วยทำงานที่สภาวะเปรอะเปื้อน
ด้วยน้ำฝนและฝุ่นละออง แต่เมื่อพิจารณาถึงโอกาสที่จะเกิด
วาบไฟตามผิวระหว่างฝุ่นละอองและคราบน้ำฝนจะสังเกตเห็น
ว่าในสภาวะเปรอะเปื้อนด้วยฝุ่นละอองนั้นค่าสนามไฟฟ้าจะมี

ตารางที่ 6 ผลต่างเฉลี่ยระหว่างค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ผิวลูกถ้วยและ
ค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ฉนวนของลูกถ้วยชั้นที่ 3

สภาวะเปรอะเปื้อน	ผลต่างสนามไฟฟ้า (V/mm)
ฝุ่นละออง	19.28
คราบน้ำทะเล	6.91
คราบน้ำฝน	22.63

ตารางที่ 7 ผลต่างเฉลี่ยระหว่างค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ผิวลูกถ้วยและ
ค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ฉนวนของลูกถ้วยชั้นที่ 2

สภาวะเปรอะเปื้อน	ผลต่างสนามไฟฟ้า (V/mm)
ฝุ่นละออง	0.31
คราบน้ำทะเล	0.66
คราบน้ำฝน	1.58

ตารางที่ 8 ผลต่างเฉลี่ยระหว่างค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ผิวลูกถ้วยและ
ค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ฉนวนของลูกถ้วยชั้นที่ 1

สภาวะเปรอะเปื้อน	ผลต่างสนามไฟฟ้า (V/mm)
ฝุ่นละออง	2.55
คราบน้ำทะเล	0.51
คราบน้ำฝน	2.95

ค่าใกล้เคียงกับค่าสนามไฟฟ้าของฉนวน ทำให้มีโอกาสเกิดวาบ
ไฟตามผิวได้ง่ายขึ้น เมื่อพิจารณาโอกาสการเกิดวาบไฟตามผิว
สามารถพิจารณาได้จากผลต่างของค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ผิวลูก
ถ้วยกับค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ฉนวนบนผิวของลูกถ้วยชั้นที่ 3
ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 1 แสดงได้ดังตารางที่ 6-8

เมื่อพิจารณาผลต่างของค่าสนามไฟฟ้าที่ผิวของลูกถ้วย
และค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดเมื่อลูกถ้วยเปรอะเปื้อนคราบน้ำทะเล
จะมีโอกาสเกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วยมากที่สุด และลูกถ้วยที่
เปรอะเปื้อนคราบน้ำฝนจะมีโอกาสเกิดวาบไฟตามผิวน้อยที่สุด

6. สรุปผลการจำลอง

จากผลการจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์เมื่อลูก
ถ้วยเกิดการเปรอะเปื้อนมลภาวะทั้ง 3 ประเภทคือ ฝุ่นละออง
คราบน้ำทะเล และคราบน้ำฝน เพื่อวิเคราะห์หาโอกาสการเกิด
วาบไฟตามผิวของลูกถ้วยชนิดก้านตรงแบบ 56-2 พบว่า เมื่อ

ลูกถ้วยเกิดการเปรอะเปื้อนคราบน้ำทะเลจะส่งผลให้ลูกถ้วยเกิดโอกาสการเกิดวาบไฟตามผิวได้มากที่สุดโดยค่าความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดการเปรอะเปื้อนฝุ่นละอองคิดเป็น 144.18 V/mm และลูกถ้วยที่มีการเปรอะเปื้อนด้วยคราบน้ำฝนจะมีโอกาสเกิดวาบไฟตามผิวน้อยที่สุด โดยค่าความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดการเปรอะเปื้อนคราบน้ำฝนคิดเป็น 109.35 V/mm แต่เมื่อพิจารณาจากผลต่างของค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดเทียบกับค่าสนามไฟฟ้าที่จะทำให้เกิดวาบไฟตามผิวจะเห็นว่าสามารถจัดลำดับโอกาสการเกิดวาบไฟตามผิวจากมากที่สุดไปน้อยที่สุดคือ เปรอะเปื้อนคราบน้ำทะเล เปรอะเปื้อนฝุ่นละอองและเปรอะเปื้อนคราบน้ำฝนตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้ได้รับความช่วยเหลืองบประมาณจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม และได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการทำวิจัยและการจำลองผลจากเจ้าหน้าที่การไฟฟ้านครหลวง เขตมีนบุรี กรุงเทพมหานคร

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sadiku MNO. Numerical Techniques in Electromagnetics. Boca Raton London New York Washington DC: CRC Press; 2000.
- [2] สำรวย สังข์สะอาด. วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2547.
- [3] Guatam BK, Ito M, Marungsri B, Matsuoka R, Ito S, Arakawa K. In IEEE. Contamination Flashover Performances of Hydrophobic Polymer Insulators with Different Core Diameter. In: International Conference on Sustainable Development. Toulouse;2004. p. 5–9.
- [4] Marungsri B, Komiya H, Aoyama I, Ishigawa A, Matsuoka R. In IEEE Salt Fog Ageing Test of Silicone Rubber for Outdoor Polymer Insulators. In: International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Material. Nagoya; 2003: p. 1–5.
- [5] Dielectric Strength of Insulating Materials. Available from: <http://www.sciencemadness.org>
- [6] Boudissa R, Bayadi A, Baersch R. Effect of pollution distribution class on insulators flashover under AC voltage. Electric Power System Research. 2013; 104: 176–182.
- [7] Murugan N, Sharmila G, Kannayeram G. In Piscataway NJ. (ed.) Design optimization of high voltage composite insulator using electric field computations. In: International conference on circuits power and computing technologies (ICCPCT). English; 2013. p. 315–320.
- [8] Marungsri B, Onchantuek W, Oonsililai A, Kulworawanichpong T. Analysis of electric field and potential distributions along surface of silicone rubber insulators under various contamination conditions using finite element method. World Acad Sci, Eng Technol. 2009; 50(3): 1353–1363.
- [9] Muniiraj C, Chandrasekar S. Finite element modelling for electric field and voltage distribution along the polluted polymeric insulator. World Journal Model Simulation England. 2012; 8(4): 310–320.
- [10] Daniar F, Lucky AN, Imade YN, Wahyudi R. In IEEE. Comparative analysis of electric field distribution on glass and ceramic insulator using finite element method. In: International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA). Lombok; 2016. p. 515–520.